Die ladende wirkung der Röntgenstra...

...

Karl Hahn

Digitized by Google

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF CALIFORNIA.
GIFT OF
Geissen Univ
Class

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Die ladende Wirkung der Röntgenstrahlen.

DISSERTATION

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

philosophischen Fakultät

der

Grossherzoglich Hessischen Ludwigsuniversität zu Giessen

vorgelegt von

Karl Hahn

Giessen.

Giessen 1905.

Druck von J. Weinert Giessen.

Digitized by Google

Genehmigt durch das Prüfungskollegium
1. 12. 1904
Referent: Dr. Drude.

Digitized by Google

M. N. W.

Meinen lieben Eltern.

155539

Digitized by Google

Inhalt.

Einleitung . . . . . Seite 7

I. Allgemeines . . . . . „ 9

1) Theoretisches.
2) Erste Beobachtungen.
3) Wirkung der Sekundärstrahlen.

II. Allgemeine Versuchsanordnung . . . . . „ 16

1) Bau der Apparate.
2) Methode.

III. Einfluss der ionisierten Luft . . . . . „ 21

1) Als Leiter.
2) Als Potentialdifferenzerreger.

IV. Gleichartige Metalle . . . . . „ 25

1) Entfernung.
2) Oberfläche.
3) Dicke der Platten.

V. Ungleichartige Metalle . . . . . „ 32

1) Verschiedene Bestrahlungsdauern.
2) Verschiedene Strahlenarten.

VI. Andere Körper . . . . . „ 40

VII. Versuche in CO_2 . . . . . „ 42

VIII. Versuche an Palladium . . . . . „ 43

Zusammenfassung . . . . . „ 46

Digitized by Google

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

Einleitung.

Unter den elektrischen Wirkungen der Röntgenstrahlen sind zwei heute allgemein anerkannt: die ionisierende und die entladende Wirkung. Doch ist man darüber noch sehr geteilter Meinung, ob Röntgenstrahlen im stande sind, einen neutralen Körper, auf den sie treffen, elektrisch zu laden.

Für die Entstehung positiver Ladung sprechen von vornherein die Versuche Sagnacs[1]) und Dorns[2]), die unter den sekundären Röntgenstrahlen Kathodenstrahlen gefunden haben, also Strahlen, die negative Elektrizität mitführen. Righi[3]) fand bei seinen Versuchen über die entladende Wirkung, dass positiv und negativ geladene und selbst neutrale Körper so beeinflusst werden, dass sie schliesslich eine positive Ladung zeigen. Bergmann und Gerchun,[4]) ebenso wie Benoist und Hurmuzescu[5]) konnten keinerlei Ladung finden. Letztere griffen Righi sogar heftig an, ohne dass jedoch einer von dem anderen überzeugt wurde.

---

[1]) Journal d. Phys. (4). 1. p. 13. 1902; Beibl. 26, 509, 1902.
[2]) Archiv Néerl. (2). 5. p. 595. 1900; Beibl. 25, 316, 1901. Abh. d. naturf. Ges. zu Halle 22. p. 39. 1900; Beibl. 24, 576, 1900.
[3]) Rendic. R. Acc. delle Sciente Bologna (5). 5. p. 725. 1896. Rendic. R. Acc. dei Lincei (5). 5. p. 143. 1896; Beibl. 20, 451, 1896.
[4]) R. C. 122. p. 378. 1896; Beibl. 20, 453, 1896.
[5]) R. C. 122. p. 779. 1896; Beibl. 20, 455, 1896.

Digitized by Google

Minchin[1]) bekam teils positive, teils negative Ladung, nämlich:

\+ Fe, Pt, Cu, Al, Au, Ag.
— Na, Hg, Sn, Pb, Zn.

Perrin[2]) konnte ebenfalls keine Ladung finden. Dagegen veröffentlichte Thomson[3]) vor kurzem eine Bemerkung, in der er mitteilte, dass ein positiv geladenes Goldblattelektroskop in hohem Vakuum noch mehr divergierte, wenn Röntgenstrahlen darauf fielen. Vorher negativ geladen, fielen die Blättchen beim Bestrahlen zusammen und zeigten dann positive Ladung.

Die Ansichten sind also recht verschieden. Wie wenig die Sache geklärt ist, sieht man daran, dass Thomson seine einzelne Beobachtung als bemerkenswert veröffentlicht. Ich habe nun versucht, die Frage zu lösen. Die Veranlassung dazu bot mir der Umstand, dass ich zufällig auf einem von Röntgenstrahlen getroffenen, isolierten Metallschirm positive Ladung fand.

---

[1]) The Electrician 36. p. 36. 1896; Beibl. 20. 458, 1896.
[2]) Eclair. Electr. 7. p. 545. 1896; Beibl. 20, 717, 1896.
[3]) Cambr. Proc. 12. p. 312. 1904; Beibl. 28, 740, 1904.

Digitized by Google

I. Allgemeines.

1. Theoretisches.

Ist das Entstehen einer positiven Ladung überhaupt möglich? Die Röntgenstrahlen sind elektromagnetische Impulse, die von der von den Kathodenstrahlen getroffenen Anode (Antikathode) ausgehen. Auf seinem Weg durch den Raum wird der Impuls absorbiert. Die Absorption besteht darin, dass durch die Energie des Strahles Elektronen, die auf seinem Weg liegen, zum Mitschwingen veranlasst werden. Bei periodischen Wellen ist dieses Mitschwingen an Resonanz gebunden, d. h. bei ihnen muss die Schwingungsdauer der Welle mit der Eigenschwingungsdauer des Moleküls oder Elektrons übereinstimmen. Bei den Röntgenstrahlen kommt Resonanz nicht in Betracht, da es sich nicht um periodisch wirkende Kräfte handelt. Trifft also ein Impuls auf ein Elektron, so bekommt dieses einen kräftigen Stoss, mag die Schwingungsdauer des Elektrons gross oder klein sein. Es nehmen somit alle Ionen an der Absorption teil und nicht nur einzelne Gruppen wie bei den anderen Strahlen.

Wie erklärt sich aber dann das grosse Durchdringungsvermögen der Strahlen? Offenbar nur dadurch, dass die Röntgenstrahlen eine sehr viel grössere Energie mitführen als

Digitized by Google

die anderen Strahlen. Sie können also schon eine beträchtliche Absorption erleiden und trotzdem noch stark genug sein, um wahrgenommen zu werden.

Die Absorption von Strahlen grösserer Impulslänge — die in der Regel nur wenig Energie mitführen, weil sie aus Kathodenstrahlen entstehen, die nur verhältnismässig geringe Geschwindigkeit haben — wird nichts anderes zur Folge haben, als dass die Elektronen zu heftigeren Schwingungen veranlasst werden. Dies kann sich in der Ausstrahlung von Licht oder ultravioletten Strahlen bemerkbar machen.

Ist der Impuls dünner, so kann er bei einer gewissen Grösse soviel Energie abgeben als Arbeit nötig ist, um den Atomverband zu zertrümmern. Es entstehen freie positive und negative Ionen. Der Vorgang heisst Ionisation.

Ist die abgegebene Energiemenge noch grösser, so ist ein Überschuss vorhanden, der dann dazu verwandt wird, dem befreiten Elektron eine gewisse Geschwindigkeit zu erteilen. An der Oberfläche des getroffenen Körpers kann dies zur Ausstrahlung von Elektronen führen, zu Kathodenstrahlen in weiterem Sinne. Die ins Innere eindringenden Strahlen können die Entstehung neuer Strahlen dadurch bewirken, dass die bei der Befreiung mit grosser Geschwindigkeit versehenen Elektronen auf Moleküle treffen und so Induktionsstösse hervorrufen. Jedenfalls werden die ausgestrahlten Elektronen nur zum geringeren Teil aus dem Innern kommen. Damit liesse sich erklären, dass in der Sekundärstrahlung sehr weiche Röntgenstrahlen und Strahlen vorkommen, die elektrische Ladung mit sich führen. Berücksichtigt man, dass die negativen Elektronen eine sehr viel kleinere Masse haben als die positiven Ionen, so muss nach dem Vorausgegangenen als sicher angesehen werden, dass mehr negative als positive Ionen ausgesandt werden. Das Vorhandensein negativer Elektronen in der Sekundärstrahlung weist notwendig darauf hin. Wird also ein Überschuss von

Digitized by Google

negativen Elektronen ausgesandt — es kann sich nur um einen Überschuss handeln, da hier im Gegensatz zu den ultravioletten Strahlen auch eine Zerstreuung positiver Ladung bemerkt worden ist — so wird eine isolierte Platte notwendig ein positives Potential zeigen müssen.

2. Erste Beobachtungen.

Eine positive Ladung fand ich zufällig. Die Röntgenröhre befand sich in einem Bleikasten, dessen Öffnung nicht, wie sonst wohl stets üblich, mit Aluminiumfolie verschlossen war, sondern die Strahlen traten frei durch die Öffnung aus. Isolierte Metallplatten zeigten bestrahlt stets positive Ladung und bedeutendes Potential. Eine Änderung trat nur ein, wenn den Strahlen kein freier Austritt gestattet wurde. Wenn also der Verschluss der Öffnung, durch die die Strahlen austraten, einen Einfluss auf die Ladung der Platte ausübte, so war das zunächst liegendste, an eine elektrostatische Wirkung zu denken. Ist der Kasten nicht vollständig geschlossen, so ist die Möglichkeit vorhanden, dass eine Ladung im Inneren influenzierend auf eine Metallplatte aussen wirkt.

Es wäre denkbar, dass durch eine unsymmetrische Stellung der Platte zu den beiden Elektroden der Röhre, der influenzierende Einfluss eines Poles den des anderen überwiegt. Ich habe jedoch überhaupt keinen influenzierenden Einfluss bemerkt, wenn ich eine grosse Metallscheibe an die Stelle der Röhre brachte, sie mit dem einen Pol des Induktoriums verband und Funken von dem anderen auf die Platte springen liess. Eine andere Möglichkeit wäre die, dass die Kathodenstrahlen, die nicht auf die Antikathode auftreffen, eine negative Ladung der Glaswand bewirkten. Abgesehen

Digitized by Google

davon, dass sich dann negative Ladung im Galvanometer oder Elektrometer bemerkbar machen müsste, war auch kein Einfluss zu konstatieren, wenn die Platte, die an Stelle der Röhre gebracht wurde, mit einer Influenzmaschine geladen wurde. Wurde die Öffnung, aus der die Strahlen austraten, mit einer Glasplatte verschlossen, so wurde die Ladung schwächer, sie verschwand nahezu ganz, als das Glas eine Dicke von 1—2 cm erreicht hatte.

Es spricht also alles dafür, dass es sich um ein von den Strahlen selbst hervorgerufenes Potential handelt. Dass dies theoretisch möglich ist, habe ich schon oben erörtert. Auch bei den lichtelektrischen Erscheinungen handelt es sich um Ausstrahlung von Elektronen. Der Unterschied ist nur der, dass sich hier Resonanzwirkung bemerkbar macht und daher reine Oberfläche und bestimmte Metalle erforderlich sind, um eine Wirkung zu zeigen, während bei den Röntgenstrahlen alle Körper eine Beeinflussung erfahren müssen, die zudem infolge der grösseren Energie, die sie mitführen, eine intensivere sein muss.

Wirkung der Sekundärstrahlen.

Nach obigen Ausführungen muss die Ausstrahlung der Elektronen zum weitaus grössten Teil an der Oberfläche stattfinden. Treffen die Strahlen auf eine Metallplatte, so werden sie absorbiert. Sie werden umsomehr durchgelassen, je geringer die Dicke der Platte ist. Wenn aber die Strahlen an der Rückseite austreten, so ist es möglich, dass auch hier Elektronen ausgesandt werden. Dies muss eintreten, wenn die Strahlen nur so wenig geschwächt werden, dass sie noch genügend Energie mitführen, um Elektronen auszusenden.

Betrachten wir nun die Wirkung eines sehr dünnen Aluminiumscheibchens, wie es als Verschluss der Öffnung

Digitized by Google

des Bleikastens gewöhnlich verwandt wird. Es hat den Zweck, die Strahlen zu filtrieren, d. h. einheitlicher zu gestalten und soll zugleich elektrische Einflüsse abschirmen. Eine solche Folie ist fast stets benutzt worden und gerade ihre Anwesenheit scheint mir die Ursache davon zu sein, dass über die ladende Wirkung der Röntgenstrahlen so widersprechende Ansichten herrschen. Die Folie sendet, wenn sie von den Strahlen durchsetzt wird, nach beiden Seiten Sekundärstrahlen und insbesondere Kathodenstrahlen aus. Die Aussendung der Kathodenstrahlen ist, da die Folie abgeleitet ist, nicht durch elektrostatische Anziehung der zurückbleibenden positiven Ladung gehemmt. Sie ist sehr intensiv, da die Folie nur wenig von der Röhre entfernt ist. Steht nun hinter der Folie die zu ladende Platte, so wird die Wirkung der Strahlen noch geringer sein, als an der Rückseite der Folie, denn die Wirkung nimmt natürlich mit der Entfernung ab. Zwischen Folie und Platte befinden sich sehr viele negative Elektronen. Diese werden nun 1) auf die Platte zum Teil auftreffen, 2) infolge des elektrischen Feldes der Ausstrahlung von Elektronen entgegenwirken und 3) infolge der Anziehung die positive Elektrizität in der Platte zurückhalten, sodass das Potential, elektrometrisch gemessen, kleiner erscheint. Diese Umstände können die Ladung so beeinflussen, dass sogar negative Ladung auf der Platte entsteht. Jedenfalls hängt dies wesentlich von der Entfernung der Folie von der Röhre und der zu ladenden Platte ab, in zweiter Linie von den Grössenverhältnissen von Platte und Folie. Eine dicke Verschlussplatte kann die Energie leicht so sehr schwächen, dass die ladende Wirkung vollständig verschwindet.

Die Richtigkeit dieser Ansicht habe ich experimentell nachweisen können. Ich habe die Öffnung des Bleikastens, in dem sich die Röhre befand, mit einer sehr dünnen Aluminiumfolie verschlossen und in geringer Entfernung davon (ca. 5 cm) eine Aluminiumplatte gebracht. Es ergab sich eine geringe negative Ladung. Mit zunehmender Entfernung

Digitized by Google

verschwand die Ladung der Platte, um schliesslich in eine geringe positive Ladung überzugehen.

Der zweite Beweis ergab sich aus folgendem Versuch. Die Öffnung des Bleikastens konnte durch verschiedene Gitter verschlossen werden. Sie betrug 12×12 cm. In variablem Abstand von dem Gitter befand sich eine Metallplatte, die durch das Gitter hindurch bestrahlt wurde, und deren Ladung durch ein d'Arsonvalgalvanometer beobachtet wurde. Das Gitter war geerdet. Folgende Tabelle zeigt, wie die Ausschläge und damit auch, wie die Ladung bei den dichteren Gittern zurückgeht. (Tab. 1). Die Verringerung des Ausschlags ist auffallend. Die Verringerung

Entfernung vom Gitter cm	5	10	15	25	40
ohne Gitter	32.0	19.1	14.2	7.0	2.5
Gitter aus versilbertem Draht 0,1 mm dick 1,5 cm Maschenweite	12.0	4.0	2.5	1.0	0.3
dasselbe doppelt	6.3	2.0	1.0	0.3	—
Gitter aus dickem verzinktem Eisendraht ca. 1,5 cm	4.7	1.5	0.7	0.3	—
dasselbe doppelt	1.5	0.5	—	—	—
Gitter aus Eisendraht 1 cm	1.5	0.8	0.5	0.2	—
Gitter aus versilbertem Draht wie oben 1,5 cm	13.0	6.0	2.2	1.0	0.5
dasselbe 2,5 cm	15.0	8.5	5.5	3.0	1.5
dasselbe 4 cm	16.3	8.0	4.5	2.3	1.5
ohne Gitter	27.0	20.0	12.5	6.5	3.7

Tab. 1.

der Intensität der Strahlen durch die Absorption des Gitters ist bei 0.1 mm Drahtdicke zu vernachlässigen. Eine elektrostatische Wirkung ist, wie oben erwähnt, ausgeschlossen.

Digitized by Google

Die Ausschläge schwanken vielfach, doch ist dies bei den Stromschwankungen der Röhre nicht anders zu erwarten. Die Kontrolle am Schluss zeigt, dass es wohl erlaubt ist, aus der Tabelle den Schluss zu ziehen, dass durch die Sekundärstrahlen die Ladung eines Metalls gehemmt, das Potential erniedrigt wird.

Mit Abschluss dieser Versuche schien mir bewiesen, dass jede Metallplatte, die von Röntgenstrahlen so getroffen wird, dass sie nur wenig Sekundärstrahlen ausgesetzt ist, eine positive Ladung annimmt. Damit habe ich die ladende Wirkung der Röntgenstrahlen konstatiert, die Righi[1]) schon behauptet hat, die ihnen aber von allen anderen Seiten abgestritten worden ist. Eine solche Wirkung war auch nach der sonstigen Übereinstimmung mit den ultravioletten Strahlen zu erwarten. Der einzige Unterschied musste darin bestehen, dass die Wirkung der Röntgenstrahlen intensiver und nicht auswählend ist.

Ich stellte mir nun die weitere Aufgabe, die ladende Wirkung der Röntgenstrahlen eingehender zu untersuchen. Natürlich konnte ich nicht darauf abzielen, die Grösse der Ladung genau zu bestimmen, denn je nach den Bedingungen schwankt das Potential einer Metallplatte zwischen 0 und einigen 100 Volt. Aber eine Untersuchung des Einflusses der Dicke, der Grösse, des Materials, der Oberflächenbeschaffenheit der Platten, der Dauer der Bestrahlung, der Entfernung, der Art der Strahlen u. s. w. hielt ich für lohnend, besonders nachdem ich zur Ansicht gekommen war, dass nur die Sekundärstrahlen die Ursache für die widersprechenden Arbeiten über die ladende Wirkung gewesen sind. Bei der Versuchsanordnung war also vor allen Dingen dafür zu sorgen, dass in der Strahlrichtung alles ferngehalten wurde, was Sekundärstrahlen aussenden konnte.

---

[1]) Righi l. c.

Digitized by Google

II. Versuchsanordnung.

Bei den Versuchen wurden verschiedene Röhren benutzt. Zumeist war eine mittelharte Röhre in Tätigkeit, bei der die Funkennebenstrecke zwischen Kugeln von 1 cm Radius 3.0 cm betrug. Sie wurde von einem Induktorium gespeist, das bei 36 Volt Spannung seine maximale Schlagweite von 30 cm erreichte. Ich arbeitete gewöhnlich mit 20 Volt Spannung (ca. 3 Amp. Primärstromstärke). Als Unterbrecher diente ein Quecksilberstrahlunterbrecher. Das Induktorium war mit einem Drahtnetz umgeben. Die Röhre befand sich in einem Holzkasten, der aussen mit 2 mm dicken Bleiblech umgeben war. Es ist wohl erlaubt anzunehmen, dass auf der Rückseite dieses Bleches keine Ausstrahlung mehr stattfindet. In der vorderen Wand befand sich eine Öffnung 4 cm breit, 8 cm hoch. Durch sie traten die Strahlen aus. Alle Hüllen waren zur Erde abgeleitet.

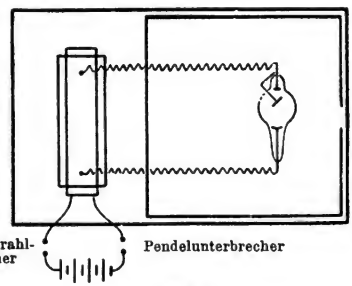

Fig. 1.

Es war ausserordentlich wichtig, die Ausstrahlung der Röhre möglichst konstant zu erhalten, denn es ist ja bekannt, dass das Vakuum einer Röhre mit

Digitized by Google

UNIVERSITY OF CALIFORNIA

dem Gebrauch höher wird, was eine Veränderung der Strahlen nach sich zieht. Ich suchte diese Gefahr dadurch abzuwenden, dass ich eine ganz kurze Bestrahlungsdauer wählte, die durch einen Pendelunterbrecher reguliert wurde.

Vor der Öffnung des Kastens befand sich (meist in einer Entfernung von 30 cm) die zu bestrahlende Platte. Wie nicht anders zu erwarten war, blieb die Strahlung bei den einzelnen Stromdurchgängen nicht stets dieselbe. Die Ladung schwankte in demselben Verhältnis wie der Strom. Um nicht gezwungen zu sein, aus sehr vielen, wenig übereinstimmenden Messungen Mittelwerte zu bilden, führte ich noch eine zweite, eine Vergleichsplatte ein. Die beiden Platten waren von ungefähr gleicher Grösse. Sie waren übereinander in ca. 2 cm Abstand von einander symmetrisch zur Röhre angeordnet. Sie wurden beide zugleich bestrahlt, ihre Potentiale gemessen und deren Verhältnis gebildet, das unabhängig von den Stromschwankungen sein musste.

An einem Rahmen aus Eichenholz [40 cm hoch, 50 cm breit] befanden sich vier Ansätze von je 15 cm Länge und zwar waren zwei auf jeder Seite so eingesetzt, dass sie einen gegenseitigen Abstand von 8 cm besassen. In der Mitte des Rahmens blieb so ein freier Raum von 20×40 cm. An den Enden der vier Stäbe befand sich je ein kleiner Ambroit-(Bernstein)ansatz, in den eine Messingschraube eingelassen war. An diese Schrauben konnten Metallplatten angeschraubt werden, von einer Form, wie sie in Fig. 2 abgebildet ist. Die Platten waren auf diese Weise sehr gut isoliert. Alle Holzteile waren mit Stanniol umwickelt und zur Erde abgeleitet. Der Apparat wurde so aufgestellt, dass nur der mittlere Teil, an dem sich die eigentlichen

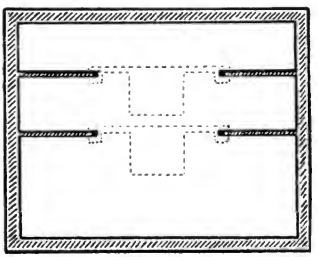

Fig. 2.

Digitized by Google

Platten befanden, direkt getroffen wurde. So wurde die Sekundärstrahlung, soweit es möglich war, vermieden. Es zeigte sich, dass die Röntgenstrahlen nicht nur von der Antikathode ausgingen, sondern auch von der Glaswand der Röhre kamen. Allerdings übertraf die Wirkung der ersteren die der letzteren bei weitem. Das Potential der Platten wurde nur zu Anfang galvanometrisch, später elektrometrisch gemessen.

Bei galvanometrischer Beobachtung war die Leitfähigkeit der ionisierten Luft gegen die Leitfähigkeit, (bezw. Widerstand) des Galvanometers zu vernachlässigen. Bei elektrometrischer Messung dagegen konnte sich ein Einfluss bemerkbar machen. Der Ladungsverlust ist proportional dem Potential. Um diesen Verlust zu verringern, schaltete ich zu jeder Metallplatte noch einen Kondensator von 275 cm Kapazität. Es hatte sich nämlich ergeben, dass die Strahlen auf den getroffenen Metallplatten nicht stets ein bestimmtes Potential, sondern ungefähr die gleiche Elektrizitätsmenge erzeugten. Versuche mit Kondensatoren, deren Kapazitäten zwischen 430 und 10 cm schwankten, hatten gezeigt, dass zwar das Produkt $C \cdot V$. mit zunehmendem Potential abnahm — dies ist dem Einfluss der ionisierten Luft zuzuschreiben —, dass aber das Potential in ganz auffallender Weise mit der Abnahme der Kapazität wuchs. In einem Falle stieg das Potential von ca. 0.6 Volt bei 430 cm Kapazität auf ca. 16 Volt bei 10 cm Kapazität. Um die Ladungsverluste möglichst gering zu machen, benutzte ich zu allen Messungen einen Kondensator von 275 cm Kapazität.

Ich untersuchte nun den Einfluss der ionisierten Luft nach Schluss der Bestrahlung. Eine Metallplatte war mit dem Kondensator und dieser mit einem Quadratenpaar des Elektrometers verbunden. Ich bestrahlte die Platte und hob die Verbindung zwischen Platte und Kondensator nach verschiedenen Zeiten auf. Wie aus der Tabelle 2 hervorgeht, nimmt die Ladung nicht nur nicht ab, sondern sogar

Digitized by Google

zu. Es erklärt sich dies daraus, dass die in den Raum hinaus geschleuderten Elektronen eine gewisse positive Elektrizitätsmenge in den Platten zurückhalten. Diese fliesst aber nach dem Kondensator und Elektrometer allmählich ab, wenn die Elektronen allmählich an den Metallen der Umgebung verschwinden. Die Bestrahlungsdauer betrug 1 Sec. Die Abnahme des Ausschlags gegen Ende erklärt sich aus der Ermüdung der Röhre.

Unterbrochen nach Schluss der Bestrahlung	Ausschlag
sofort	194 Skalat.
"	191
$^1/_2$ Sec. später	200
1 Sec. später	219
sofort	183
"	186
3 Sec. später	213
sofort	183
1 Sec. später	196
nicht unterbrochen	203

Tab. 2.

Diese Ergebnisse veranlassten mich, bei Bestrahlungen, die länger als 1 Sekunde dauerten, die Verbindung zwischen Platte und Elektrometer sofort nach Schluss der Bestrahlung aufzuheben. Dies wurde dadurch erreicht, dass der Pendelunterbrecher, der aus einem Stift bestand, der in Quecksilber tauchte, verdreifacht wurde, d. h. es wurden 3 isolierte Stifte angefertigt, die in drei isolierte Quecksilbernäpfe tauchten. So wurde Stromschluss und die Verbindung von Platten mit Kondensatoren und Elektrometer zu gleicher Zeit hergestellt. Die beiden Kondensatoren standen ihrerseits mit je einer Wippe in Verbindung, die ermöglichte, den Kondensator mit einem Quadrantenpaar zu verbinden oder das Quadrantenpaar zur Erde abzuleiten. Ein dritter Kontakt ermöglichte die Erdung des Kondensators. Kondensatoren und Wippen waren in einem Holzkasten aufgestellt, in dem sich Chlorkalzium befand. Die Wippen konnten durch Schnuren und Federn von aussen umgelegt werden. Auf diese Weise war alles vorzüglich isoliert. Die Ausschläge

Digitized by Google

des Elektrometers wurden auf einer 2.50 m entfernten Skala mit Fernrohr abgelesen. Die Nadel des Elektrometers war meist auf 30 Volt durch eine Akkumulatorenbatterie geladen.

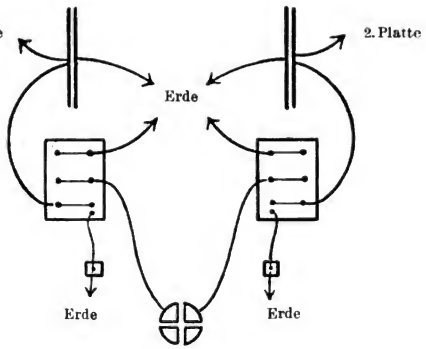

Fig. 3.

Die Beobachtungen geschahen in folgender Weise. Die Kondensatoren wurden mit den Quadrantenpaaren verbunden. Die Kapazität betrug zusammen ca. 320 cm. Dann wurde der Pendelunterbrecher geschlossen und damit die Röhre in Tätigkeit versetzt. Gleichzeitig damit war die Verbindung zwischen Platten und Kondensatoren hergestellt. Es waren also Platte, Kondensator und Quadrantenpaar miteinander verbunden. Sie luden sich während der Bestrahlung auf. Mit dem Öffnen des Pendelunterbrechers wurde auch die Verbindung zwischen Platte und Kondensator wieder aufgehoben. Das Elektrometer zeigte dann zuerst den Differenzausschlag der beiden Platten $V_1 — V_2$. Durch Zurücklegen der einen Wippe, nämlich der von V_1, wurde das eine Quadrantenpaar geerdet und V_2 das Potential der Vergleichsplatte allein gemessen. Der Quotient $\frac{V_1 — V_2}{V_2}$ oder auch $\frac{V_1}{V_2}$ muss unabhängig von den Schwankungen der Strahlung sein, aber charakteristisch für den Unterschied der Potentiale der beiden Platten bleiben.

Digitized by Google

III. Einfluss der ionisierten Luft.

Über den Einfluss der ionisierten Luft habe ich mich schon oben verbreitet. Es geht aus den Versuchen hervor, dass die Wirkung der ionisierten Luft, soweit sie in der Fortführung elektrischer Ladung besteht, sich bei höheren Potentialen stark, bei geringeren, ca. 1 Volt, aber nur wenig bemerkbar macht. Ich habe davon abgesehen, den Einfluss ganz zu eliminieren, was z. B. dadurch möglich gewesen wäre, dass man die Abhängigkeit von $\frac{V_1}{V_2}$ für verschiedene Kondensatoren untersucht. Die Korrektionen, die an und für sich gering sind, sind bei der Vergleichsmethode ganz ohne Einfluss. Versuche im Vakuum habe ich nicht angestellt, weil es nicht ausgeschlossen war, dass das Resultat durch Sekundärstrahlen beeinflusst wird, die von den Wänden des Gefässes ausgehen. Meine Aufgabe ist aber die, die Abhängigkeit der ladenden Wirkung der Röntgenstrahlen zu untersuchen, wenn möglichst **wenig** Sekundärstrahlen die Ladung beeinflussen können.

Ein anderer Einfluss der ionisierten Luft ist von viel grösserer Bedeutung. Da die ionisierte Luft freie positive und negative Ionen enthält, so gleicht sie einem Elektrolyten. In ihr kann, wie von verschiedenen Seiten festgestellt worden ist, eine Potentialdifferenz zwischen verschiedenen Metallen entstehen. Man könnte nun auf den Gedanken kommen, in dieser Wirkung der Luft allein den Grund der positiven Ladung zu suchen, da selbst in dem Falle, dass nur ein Metall bestrahlt wird, der Bleischirm, der die Röhre einhüllt, als zweites Metall wirken könnte.

Digitized by Google

Dies ist aber ausgeschlossen, denn 1) müsste dann z. B. Zink negative und Kupfer positive Ladung zeigen, 2) wäre nicht anzunehmen, dass sich Platten auf ein höheres Potential als ca. 2 Volt laden würden, tatsächlich habe ich Potentiale von 10, 20, ja etlichen 100 Volt beobachtet, 3) dürfte ein Kondensator keine Erniedrigung des Potentials bewirken, 4) müssten verschieden grosse Metallplatten nahezu gleiches Potential erhalten u. s. w.

Schwierig ist aber die Frage, ob die Differentialmethode noch bei Metallen verschiedener Art verwendet werden darf. Von Arbeiten über die Potentialdifferenz der Metalle in ionisierten Gasen will ich die von Winkelmann,[1]) Hillers[2]) und von Hofmann und Exner[3]) erwähnen. Erstere haben Röntgenstrahlen, letztere Radium- und Poloniumstrahlen als Ionisatoren benutzt. Es sei mir gestattet, diese Arbeiten kurz hier zu besprechen, weil sich meine Untersuchung mit der ihrigen berührt und dennoch ein ganz anderes Ziel hat, und, soweit Winkelmann und Hillers in Betracht kommen, ergänzend auf sie wirkt.

Winkelmann bringt in seiner Arbeit den Beweis, dass sich Metalle in röntgenisierter Luft zu einem gewissen von ihrer Natur abhängigen Potential laden. Die Beziehung der Metalle entspricht im allgemeinen dem Spannungsgesetz. Seine Versuchsanordnung war folgende: Die Röntgenröhre befand sich in einem Bleikasten mit quadratischer Öffnung, die durch ein 0,1 mm dickes Aluminiumblech oder auch durch ein solches, das aus einem Al- und einem Cu-Blech bestand, und bei dem bald das Cu, bald das Al nach aussen zu stehen kam, verschlossen war. Dicht davor wurde eine Platte gebracht, und diese eine Minute lang bestrahlt. Sofort nach Aufhören der Bestrahlung wurde das Potential elektrometrisch

---

[1]) Winkelmann: Annalen d. Phys. u. Chem. 66, p. 1. 1898.
[2]) Hillers: Annalen der Phys. u. Chem. p. 170. 1899.
[3]) Hofmann und Exner: Boltzmann-Festschrift 1904. p. 600.

Digitized by Google

oder galvanometrisch gemessen. Es ergab sich positive oder negative Ladung, je nachdem das Metall höher oder tiefer in der Spannungsreihe stand als das Verschlussmetall, das geerdet war. Bei einem Abstand von 7 cm war die Wirkung verschwindend. Dagegen ergab sich in grösserer Entfernung noch eine Wirkung, wenn dicht vor der Platte noch eine dünne Scheibe eines anderen Metalls aufgestellt wurde. Bedingung für das Auftreten der Potentialdifferenz war, dass eines der beiden Metalle zur Erde abgeleitet war. Die Wirkung verschwand, wenn man als zweites Metall Stanniol, auf Pappe geklebt, so aufstellte, dass sich die Pappe zwischen den beiden Metallen befand. Winkelmann untersucht die Potentialdifferenz von Cu, Zn, Al in verschiedenen Anordnungen.

Aus dem Versuch mit der Pappe glaubt er schliessen zu müssen, dass es sich nicht um eine Wirkung handle, die direkt durch die Strahlen hervorgerufen wird, sondern um eine Entladung der Ionen der Luft an den Metalloberflächen, also nicht eine Wirkung der Strahlen, sondern des Gases. Es ist aber noch lange nicht bewiesen, dass dies die einzige Bedingung ist. Es wäre sehr gut denkbar, dass Sekundärstrahlen ebenfalls diese Differenz bewirken könnten. Man wird in der Vermutung, dass die Sekundärstrahlen auch eine Rolle dabei spielen, noch bestärkt, wenn man berücksichtigt, dass die Resultate Winkelmanns, soweit die Potentialdifferenz in Betracht kommt, noch Fehler aufweisen, die nur schwer durch Oberflächenbeschaffenheit allein zu erklären sind. Winkelmann gibt umstehende Tabelle:

Die „Scheibe“ ist stets der Röhre zugewandt, ihre Dicke beträgt 0,1 mm. Ob z. B. die Potentialdifferenz Zn—Zn = +1.6 (oder = —1.7) gegenüber Cu—Zn = —2.3 mit verschiedener Oberflächenbeschaffenheit zu erklären ist, ist immerhin sehr fraglich. Die Scheiben, d. h. die Metalle, die zuerst getroffen werden, zeigen, wie aus der Tabelle hervorgeht, das Bestreben, sich positiv zu laden, was entschieden

Digitized by Google

Verbunden mit		Ausschlag	Verbunden mit		Ausschlag
Erde	Galv.		Erde	Galv.	
Cu-Platte	Cu-Scheibe	+0.1	Cu-Scheibe	Cu-Platte	−0.1
Zn- „	„	+3.5	„	Zn- „	−3.8
Al- „	„	+3.5	„	Al- „	−3.4
Cu- „	Zn-Scheibe	−2.3	Zn-Scheibe	Cu- „	+2.2
Zn- „	„	+1.6	„	Zn- „	−1.7
Al- „	„	+1.2	„	Al- „	−1.1
Cu- „	Al-Scheibe	−1.6	Al-Scheibe	Cu- „	+1.5
Zn- „	„	+2.0	„	Zn- „	−2.1
Al- „	„	+1.2	„	Al- „	−1.2

Tab. 3.

für eine direkte Wirkung der Strahlen spricht. Ferner ist sehr befremdend, dass die Metalle nur äusserst geringe Differenzen zeigen, wenn sie beide isoliert sind. Nimmt man hinzu, dass Hillers, der die Arbeit Winkelmanns fortgesetzt hat, indem er die Potentialdifferenzen in verschiedenen Gasen bei verschiedenem Druck mass, selbst sagt, dass an manchen Tagen die Messungen aus unbekannten Gründen so grosse Schwankungen zeigten, dass eine Beobachtung nicht möglich war, so muss man wohl zu dem Schluss kommen, dass noch ein zweiter wesentlicher Umstand die Potentialdifferenz beeinflussen muss. Für einen solchen halte ich die ladende Wirkung. Sehr beträchtlich wird sie bei Winkelmanns Anordnung, nachdem die Strahlen ein Kupfer- und ein Aluminiumblech durchdrungen haben, nicht sein, für ihr Vorhandensein spricht aber, dass bei gleichen Metallen, das zuerst getroffene Metall positive, das zweite Metall negative Ladung zeigt. (Siehe Tabelle). Bei Exner und Hofmann, die mit Radiumstrahlen arbeiten, kommen keine derartigen Schwankungen vor. Sie konstatieren ebenfalls eine Potentialdifferenz, die z. B. für Cu—Zn 0.78 Volt beträgt.

Digitized by Google

Wenn also zwei Umstände die Potentialdifferenz beeinflussen, so erhebt sich die schwierige Frage, welcher Teil von der ionisierten Luft und welcher von der Strahlung direkt verursacht wird. Sollte es daher nicht vorteilhafter erscheinen, die Differentialmethode ganz fallen zu lassen? Wenn aber ein Metall allein bestrahlt wird, so kann jederzeit das Blei des Kastens, in dem sich die Röhre befindet, das zweite Metall liefern, und andererseits liefert die Differentialmethode Werte, die von den Schwankungen der Röhre unabhängig sind. Beide Umstände bestimmten mich, meist der Differentialmethode den Vorzug zu geben.

Da Winkelmann die Abweichungen mit verschiedener Oberflächenbeschaffenheit erklärt hat, hielt ich es für notwendig, zuerst die Abhängigkeit der Ladung von allgemeinen Bedingungen, wie Entfernung, Oberfläche und Dicke der Platten zu prüfen. Hier ist die Differentialmethode deshalb einwandsfrei, weil die Untersuchungen an Metallen derselben Art vorgenommen werden.

IV. Gleichartige Metalle.

1) Entfernung.

Da es sich um eine Wirkung von Strahlen handelt, so sollte ohne weiteres das Gesetz der Abnahme indirekt proportional dem Quadrat der Entfernung gelten. Es ist jedoch nicht ausgeschlossen, dass durch den Bleischirm oder andere Leiter in der Nähe oder durch andere Umstände Komplikationen hervorgerufen werden.

Eine Untersuchung ergab folgendes: Eine Zinkplatte wurde $^1/_{10}$ Sekunde lang bestrahlt und zeigte dann in

Digitized by Google

15.3 cm Entfernung von dem Bleischirm eine Ladung von 1.82 Volt (2378 Skalenteilen Ausschlag). In 29.5 cm Entfernung ergab sich 0.85 Volt (= 1112 Skalenteile). Diese Werte sind als Mittelwerte aus je 10 Messungen gewonnen. Es wurde keine Vergleichsplatte angewendet, weil dies eine peinlich genaue Einstellung symmetrisch zur Röhre erfordert hätte, und ein etwa daraus entspringender Fehler unkontrollierbar gewesen wäre. Wenn das Gesetz gelten sollte, so musste sich aus diesen Zahlen die Entfernung der Röhre hinter dem Bleischirm berechnen lassen. Es ergab sich eine Entfernung von 15.4 cm. In Wahrheit war die Antikathode 15 cm entfernt.

Bei einer Bestrahlungsdauer von 0.03 Sek. wurde das Gesetz für eine geringere Entfernung geprüft. Es betrug das Potential in

5.5	cm	Entfernung	1.86	Volt	oder	2432	Skalenteile
10.8	„	„	0.91	„	„	1193	„
22.0	„	„	0.38	„	„	520	„

Addiert man zu der Entfernung den Abstand der Röhre hinter dem Schirm, so müssten für diese Abstände $V d^2$ konstant sein, wenn das Gesetz gelten sollte. Es ergibt sich

d	V	$V d^2$
20.5	1.86	781
25.8	0.91	605
37.0	0.38	518

Tab. 4

Eine Übereinstimmung ist hier nicht vorhanden, die Werte kommen aber einander näher, je grösser der Abstand ist.

Es ergibt sich also, dass das Gesetz der Abnahme der Wirkung indirekt proportional dem Quadrat der Entfernung giltig ist von einer Entfernung von 15 cm vom Bleischirm. In geringerer Entfernung macht sich entweder der Umstand bemerkbar, dass die Strahlenquelle nicht punktförmig ist, dass sogar Strahlen von der Glaswand ausgehen, oder auch ein Einfluss des Bleischirms insofern, als der Weg der Elektronen dann nur kurz ist bis zum Schirm, infolgedessen

Digitized by Google

weniger freie Elektronen in der Luft vorhanden sind, und somit die positive Ladung in geringerem Masse zurückgehalten wird. Die Ladung erscheint dann grösser.

2) Oberflächenbeschaffenheit.

Da die Ladung der Platten durch Abschleudern der Elektronen von der Oberfläche bewirkt wird, so ist zu erwarten, dass die Oberflächenbeschaffenheit einen gewissen Einfluss ausübt. Ich habe eine Untersuchung bei Zink durchgeführt. Als Vergleichsplatte wurde eine Zinkplatte gewählt, die jedesmal fein abgeschmirgelt und mit Alkohol abgewaschen war. Innerhalb der Versuchsreihe wurden die Platten zweimal in ihrer Stellung vertauscht, damit nicht ein Fehler infolge unsymmetrischer Stellung entstünde. Die Bestrahlungsdauer betrug 1 Sekunde. Ich gebe umstehend (Tab. 5) eine Tabelle der Beobachtungen bei fein geschmirgeltem Zink gegen grob geschmirgeltes Zink. Die Zahlen bedeuten Skalenteile, das ihnen entsprechende Potential schwankt zwischen 0.8 und 1.1 Volt bei einer Entfernung von 30 cm vom Bleischirm.

Da die Übereinstimmung der Messungen nicht sehr gross ist, musste aus mehreren Werten das Mittel genommen werden. Als Mittelwert ergibt sich $V_1 = 1.015\ V_2$, d. h. grob geschmirgeltes Zink liefert ein um 1.5 % höheres Potential als fein geschmirgeltes.

In derselben Weise wurden andere Oberflächen untersucht. Es ergab sich:

Grobes Zn	liefert	1.5 %	mehr	als	fein	geschmirgeltes	Zn
oxydiertes	„	„	3.5 %	„	„	„	„	„
etw. amalg.	„	„	0.6 %	„	„	„	„	„
stark	„	„	„	2.2 %	„	„	„	„	„

Die Erklärung dafür, dass fein geschmirgeltes Zink stets ein kleineres Potential zeigt, ist darin zu suchen, dass die Unebenheiten der Oberfläche die Ausstrahlung von Elektronen begünstigen können.

Digitized by Google

V_1	V_2	$V_1 - V_2$	
1043	1018	25	$V_1 = 1.024\ V_2$
1200	1206	−6	„ = 0.995 „
1182	1182	0	„ = 1.000 „
1040	1012	28	„ = 1.028 „
1100	1103	−3	„ = 0.997 „
1164	1152	12	„ = 1.010 „
1137	1112	25	„ = 1.023 „
Stellung der Platten gewechselt.			$V_1 = 1.011\ V_2$
1172	1155	22	$V_1 = 1.020\ V_2$
1250	1218	32	„ = 1.026 „
1118	1098	20	„ = 1.018 „
1068	1050	18	„ = 1.017 „
Stellung der Platten gewechselt.			$V_1 = 1.020\ V_2$
1242	1232	10	$V_1 = 1.008\ V_2$
1148	1132	16	„ = 1.014 „
1212	1200	12	„ = 1.010 „
1132	1122	10	„ = 1.009 „
			$V_1 = 1.010\ V_2$

Tab. 5

Um die Wirkung eines Isolators auf der Oberfläche kennen zu lernen, überzog ich die eine von zwei ganz gleichen Zinkplatten mit einer feinen Schicht Paraffin. Die Untersuchung wurde genau wie vorher vorgenommen. Sie ergab folgendes Resultat (s. Tabelle S. 29).

An und für sich bewirkt die Paraffinschicht schon eine Erniedrigung des Potentials um ca. 10 %. Dann ist aber auch aus der Tabelle zu ersehen, wie die Differenz der Potentiale grösser wird. Es kann dies einerseits daran liegen, dass die Leitfähigkeit des Paraffins mit der Dauer der Bestrahlung geringer wird. Dies hat schon Thomson konstatiert und ich habe mich selbst davon überzeugt, dass Paraffin eine geringe Leitfähigkeit beim Bestrahlen annimmt, und dass diese Leitfähigkeit bei wiederholten Bestrahlungen geringer wird. Die Abnahme der Leitfähigkeit des Paraffins könnte dann die Abnahme des Potentials bewirken. Mehr Wahrscheinlichkeit hat aber die Annahme für sich, dass Elektronen, die ins Paraffin eingedrungen sind, von diesem festgehalten werden und so

Digitized by Google

V_1	V_2	$V_1 - V_2$	
1120	1220	−100	$V_1 = 0.918\ V_2$
1078	1200	−122	„ $= 0.900$ „
1223	1370	−147	„ $= 0.893$ „
Platten umgewechselt.			
1100	1208	−108	$V_1 = 0.910\ V_2$
1060	1220	−160	„ $= 0.869$ „
1130	1293	−163	„ $= 0.874$ „
Platten umgewechselt.			
1020	1220	−200	$V_1 = 0.836\ V_2$
1090	1290	−200	„ $= 0.845$ „
nach 30 Minuten:			
1113	1310	−197	$V_1 = 0.850\ V_2$

Tab. 6

einen Teil der positiven Ladung der Platten binden. Dafür spricht auch die Tatsache, dass nach einer halben Stunde die Verhältnisse noch ganz genau dieselben sind, wie bei der vorhergehenden Bestrahlung. Dass wirklich Elektronen in das Paraffin eindringen und festgehalten werden, kann man schon daraus sehen, dass sich nach einigen Minuten noch ein negativer Influenzausschlag von mehreren Skalenteilen bemerkbar machte.

Ein weiterer Versuch wurde mit Schellack angestellt. Die eine Platte wurde mit einer äusserst feinen Schicht Schellack überzogen und in derselben Weise wie die vorige untersucht. Es ergab sich ein ähnliches Resultat. Das Verhältnis der Platten nahm nach 10 Bestrahlungen von $V_1 = 0.975\ V_2$ bis auf $V_1 = 0.953\ V_2$ ab.

Alle Versuche sind bei einer Bestrahlungsdauer von 1 Sek. vorgenommen worden. Es lässt sich annehmen, dass die Wirkung für eine andere Dauer dieselbe ist. Überraschen muss aber der äusserst geringe Einfluss, den bedeutende Unterschiede in der Oberflächenbeschaffenheit auf die Höhe des Potentials ausüben. Die Röntgenstrahlen stehen hierin in schroffem Gegensatz zu den ultravioletten Strahlen. Auf der einen Seite ist eine peinlich reine metallische Oberfläche erforderlich, auf der anderen ist es fast

Digitized by Google

einerlei, ob eine dicke Oxydschicht vorhanden ist oder nicht, ja die Oxydschicht liefert noch ein höheres Potential als die metallische Oberfläche.

Nach diesen Resultaten scheint es mir noch unwahrscheinlicher zu sein, dass die Abweichungen in den Resultaten Winkelmanns allein durch Oberflächenbeschaffenheit zu erklären sind, zumal man annehmen muss, dass er die Oberfläche möglichst gleich gestaltet hat, um die Fehler auf ein Minimum zu verringern.

3) **Dicke der Platten.**

Ich habe oben auseinandergesetzt, dass bei dünnen Platten unter Umständen ein grösseres Potential auftreten kann, indem auch auf der Rückseite eine Ausstrahlung von Elektronen durch die nur wenig geschwächten Strahlen veranlasst wird. Dieser Einfluss der Dicke kann sich bei verschiedenen Metallen in verschiedenem Masse bemerkbar machen. Stark absorbierende Metalle, wie Blei und Platin, werden schon bei wesentlich geringerer Dicke die Strahlen so schwächen, dass eine Ausstrahlung an der Rückseite verhindert wird, als z. B. Aluminium. Auch werden härtere Strahlen erst bei einer grösseren Dicke so stark absorbiert werden, dass keine Elektronen mehr nach hinten ausgesandt werden. Vorversuche an Zink und Aluminium zeigten, dass bei Strahlen, wie sie die Röhre, mit 3.0 cm Funkennebenstrecke zwischen Kugeln von 1 cm Radius, lieferte, eine Dicke von 0.1 mm genügte, um die Ausstrahlung an der Rückseite zu verhindern.

Ich habe deshalb die Versuche nur bei Aluminium, dem am stärksten durchlässigen Metall für verschiedene Bestrahlungsdauern durchgeführt. Ich verglich 3 Aluminiumscheiben von 0.007, 0.1 und 1.0 mm Dicke miteinander. Ein Vergleich zwischen einer einzigen Folie und mehreren Lagen

Digitized by Google

derselben Folie konnte leider deshalb nicht ausgeführt werden, weil die einzelnen Schichten nicht fest auf einander haften blieben. Es entstanden Fehler dadurch, dass Elektronen in die Zwischenräume der Folien ausgesandt wurden.

Die Versuche wurden jetzt insofern anders ausgeführt, als ich nicht mehr die Platten in ihrer Stellung vertauschte, sondern die drei zu untersuchenden Platten mit einer vierten verglich, die in ihrer Stellung verblieb. Als diese Vergleichsplatte hatte ich eine Aluminiumplatte gewählt von 2 mm Dicke. Die Oberflächen wurden fein abgeschmirgelt und mit Alkohol abgewaschen. Es ergaben sich folgende Mittelwerte.

Bei 0.03 Sek. Bestrahlungsdauer

Platte: 0.007 mm $V_1 = 1.207\ V_2$
„ 0.1 „ „ $= 0.942$ „
„ 1.0 „ „ $= 0.956$ „

Bei 1 Sek. Bestrahlungsdauer

Platte: 0.007 mm $V_1 = 1.059\ V_2$
„ 0.1 „ „ $= 0.955$ „
„ 1.0 „ „ $= 0.950$ „

Bei 3 Sek. Bestrahlungsdauer

Platte: 0.007 mm $V_1 = 1.031\ V_2$
„ 0.1 „ „ $= 0.960$ „
„ 1.0 „ „ $= 0.963$ „

V_2 bedeutet dabei das Potential der Vergleichsplatte, die, wie auch aus den Verhältnissen $V_1 : V_2$ hervorgeht, etwas stärker bestrahlt wurde als die zu untersuchenden Platten.

Aus der Tabelle geht hervor, dass das Potential der dünnen Scheiben viel höher ist als das der Platten. Der Unterschied zwischen einer Dicke von 0.1 und 1.0 mm ist nur gering. Das Potential der Vergleichsplatte betrug bei

0.03 Sek. 0.08 Volt
1 „ 0.93 „
3 „ 2.45 „

Digitized by Google

Gleichzeitig zeigt die Tabelle, dass der Unterschied am grössten ist bei einer kurzen Bestrahlungsdauer. Bei noch längerer Bestrahlungsdauer ergab sich, dass das Potential stets zunahm, bis es nach 15—20 Sekunden einen einigermassen konstanten Wert annahm und beibehielt. Auch blieb der Unterschied zwischen der Folie und der dicken Platte konstant, so dass er etwa bei einer Bestrahlungsdauer von 1 Minute ca. 10% betrug.

Die Folgerung, die ich oben gezogen hatte, hat sich also bestätigt. Aus dem Umstand, dass schon bei einer Dicke von 0.1 mm eine Ausstrahlung an der Rückseite verhindert wird, ergibt sich, dass die Absorption der Strahlen keineswegs so gering ist, wie man im allgemeinen geneigt ist anzunehmen. Eine starke Absorption ist zu erwarten, weil alle Ionengruppen an der Absorption teilnehmen.

V. Ungleichartige Metalle.

Solange Metalle gleicher Art untersucht werden, ist ein Einfluss der Luft, soweit die Erregung einer Potentialdifferenz in Betracht kommt, nicht zu befürchten. Es hat sich aber gezeigt, dass die ionisierte Luft die Fähigkeit hat, Potentialdifferenzen hervorzurufen. Ich komme nun zur Beantwortung der Frage, ob die Potentialdifferenz zweier Metalle, die von Röntgenstrahlen getroffen werden, allein dem Einfluss der Luft zuzuschreiben ist. Nach der Arbeit von Winkelmann, nach der ich mich zu allererst zu richten habe, weil sie am ausführlichsten ist, und weil W. als Ionisator ebenfalls Röntgenstrahlen benutzt, habe ich keine Differenz zu erwarten, wenn beide Platten isoliert sind. Andere Arbeiten sprechen aber dafür. Mir kommt es nun nicht darauf an, den Einfluss der Luft zu

Digitized by Google

bestimmen, sondern darauf, zu erfahren, ob die Strahlung an und für sich schon imstande ist eine verschiedene Aufladung der bestrahlten Platten zu verursachen, und weiterhin zu untersuchen, welche Umstände das Potential beeinflussen.

Um überhaupt einen Begriff von dem Potentialunterschied, der auftritt, zu bekommen, habe ich Metallplatten von einer Grösse 6.2×7.5 cm in einer Entfernung von 30 cm von dem Bleischirm bestrahlt. Die Versuche wurden in der oben beschriebenen Versuchsanordnung ausgeführt. Die zu untersuchenden Metalle waren von oben angegebener Form, genau gleicher Grösse und möglichst gleicher Oberflächenbeschaffenheit. Sie wurden vor der Bestrahlung abgeschmirgelt und mit Alkohol abgewaschen. Vergleichsplatte war eine Aluminiumplatte von ungefähr gleicher Grösse. Aus je 10 Messungen wurde ein Mittelwert gebildet. V_1 bedeutet das Potential des zu untersuchenden Metalls, V_2 das des Vergleichsmetalls. Es ergab sich bei einer Bestrahlungsdauer von 0.02 Sek.

Metall	$\frac{V_1}{V_2}$	V_1 in Volt	V_2 in Volt
Cu	1.533	0.110	0.066
Fe	1.443	0.100	0.065
Neusilber	1.442	0.105	0.067
Messing	1.410	0.117	0.078
Pb	1.316	0.094	0.079
Al	1.076	0.082	0.075
Zn	0.945	0.090	0.083

Tab. 7

Bei der letzten Tabelle sind Neusilber und Messing weggelassen worden, um die Röhre nicht zu sehr in Anspruch zu nehmen, um also ein zu starkes Hartwerden der Strahlen zu vermeiden. Bei den beiden letzten Tabellen wurden die Versuche symmetrisch ausgeführt, d. h. es wurde noch eine zweite Reihe von Bestrahlungen in umgekehrter Reihenfolge vorgenommen. Dadurch wurden die Werte nahezu unabhängig von einer Veränderung der Strahlung.

Im allgemeinen scheint die Voltasche Spannungsreihe für die Reihenfolge der Metalle massgebend zu sein. Aus-

Digitized by Google

Bei einer Bestrahlungsdauer von 1 Sek.

Metall	$\frac{V_1}{V_2}$	V_1 in Volt	V_2 in Volt
Cu	1.244	1.01	0.80
Pb	1.223	1.04	0.84
Messing	1.209	1.03	0.85
Neusilber	1.182	0.94	0.79
Fe	1.181	1.01	0.84
Zn	1.099	0.96	0.87
Al	1.003	0.92	0.92

Tab. 8

Bei einer Bestrahlungsdauer von 3 Sek.

Metall	$\frac{V_1}{V_2}$	V_1 in Volt	V_2 in Volt
Cu	1.154	3.01	2.62
Pb	1.149	3.20	2.79
Neusilber	1.145	2.87	2.51
Messing	1.144	2.88	2.52
Fe	1.125	2.92	2.62
Zn	1.054	2.76	2.56
Al	1.002	2.57	2.57

Tab. 9

Bei einer Bestrahlungsdauer von 15 Sek.

Metall	$\frac{V_1}{V_2}$	V_1 in Volt	V_2 in Volt
Cu	1.140	5.68	5.00
Neusilber	1.118	5.82	5.66
Messing	1.117	5.57	5.28
Fe	1.114	5.93	5.63
Pb	1.092	5.82	5.56
Zn	1.025	5.02	4.96
Al	0.985	5.88	5.93

Tab. 10

Bei einer Bestrahlungsdauer von 60 Sek.

Metall	$\frac{V_1}{V_2}$	V_1 in Volt	V_2 in Volt
Cu	1.093	11.54	10.30
Fe	1.086	11.46	11.00
Pb	1.083	10.54	10.21
Zn	1.030	10.01	9.93
Al	0.960	12.18	12.48

Tab. 11

nahmen bilden in der ersten Tabelle Zink und in der zweiten und dritten Blei. Auch hier nahm das Potential nach einer Bestrahlungsdauer von 20—25″ einen einigermassen konstanten Wert an.

Dieses Resultat könnte nun zu dem Schluss verleiten, dass doch die ionisierte Luft das allein ausschlaggebende ist. Ich habe deshalb einmal die Potentialdifferenz untersucht, wenn die direkte Strahlung vollständig vermieden wird.

Digitized by Google

Es ist festgestellt worden, dass die Röntgenstrahlen, die durch einen Spalt fallen, zwar nicht gebeugt werden, dass aber trotzdem die Luft hinter dem Spalt überall ionisiert ist. Wenn ich also mit einem Bleischirm die Röntgenstrahlen so abblende, dass nur der Zwischenraum der Platten direkt von den Strahlen getroffen wird, so muss gleichwohl die Luft hinter dem Schirm überall ionisiert sein. Stellt sich nun eine Potentialdifferenz ein, so muss sie nur von der Luft herrühren oder wenigstens von der direkten Strahlung unabhängig sein. Bei den Versuchen ergab sich in der Tat eine Potentialdifferenz.

Verglichen mit den Resultaten der letzten Tabellen, ergab sich eine Potentialdifferenz, die bei einer Bestrahlungsdauer von

$^1/_{50}$ Sek. nur $^1/_7$ der Potentialdifferenz ohne Schirm
1 „ „ $^1/_3$ „ „ „ „
3 „ „ $^1/_3$ „ „ „ „

betrug.

Bei diesen Versuchen waren die Platten genau so wie früher angeordnet. Ich führte nun noch eine zweite Versuchsreihe durch, bei der die Platten so angeordnet waren, dass ihre Flächen parallel mit der Richtung der Strahlen standen. Auch jetzt betrug die Potentialdifferenz im besten Falle nur die Hälfte, meist aber nur 0.4 der früheren.

Interessant war, dass auch jetzt die Platten eine positive Ladung angenommen hatten, die jedoch nur sehr gering war. Sie betrug im ersten Falle

	Cu	Zn
bei 0.02 Sek.	— Volt	— Volt
„ 1 „	0.06 „	0.03 „
„ 3 „	0.12 „	0.06 „

Digitized by Google

im zweiten Falle:	Cu	Zn
bei 0.02 Sek.	0.03 Volt	0.01 Volt
„ 1 „	0.08 „	0.03 „
„ 3 „	0.14 „	0.05 „

Diese positive Ladung kann von Röntgenstrahlen herrühren, die nicht direkt von der Antikathode, sondern von der Glaswand der Röhre ausgehen.

Die Versuche lassen es also, ebenso wie die früheren Erörterungen, als sehr wahrscheinlich erscheinen, dass die ionisierte Luft nur einen Teil der Potentialdifferenz bewirkt.

Betrachten wir zunächst die Faktoren, die dabei in Betracht kommen können.

1) Die Ladung des Metalls hängt ab von der Härte der Strahlen. Je weicher die Strahlen sind, desto geringer ist die Ladung, und desto mehr kann sich der Einfluss der Luft bemerkbar machen. Als Beweis dafür, dass die harten Strahlen ein grösseres Potential liefern, führe ich an, dass Strahlen von einer Röhre mit 1.1 cm Funkennebenstrecke zwischen Kugeln von 1 cm Radius auf einer Kupferplatte ein Potential von 0.32 Volt hervorriefen. In derselben Anordnung ergab eine Röhre von 3.0 cm Nebenschluss ein Potential von 0.81 Volt.

2) Es ist möglich, dass verschiedene Metalle die negativen Ionen verschieden stark zurückhalten. Wenn Kupfer sich in einem Elektrolyten nicht so stark negativ auflädt als Zink, so kann man auch sagen, Cu zeigt gegen die negativen Ionen eine geringere Verwandtschaft. Daraus könnte man nun schliessen, dass Cu die negativen Ionen auch weniger stark zurückhält als Zink.

3) Da die Ausstrahlung der Elektronen hauptsächlich an der Oberfläche stattfinden wird, wird auch die Dichte der Oberfläche in Betracht kommen, denn je dichter diese ist, desto mehr Strahlen werden auf der Oberfläche absorbiert. Die Dichte der Oberfläche ist proportional der Dichte des Körpers.

Digitized by Google

4) Ferner kann die Masse der Moleküle einen Einfluss auf die Ausstrahlung ausüben. Es werden positive und negative Ionen ausgesandt. Je leichter nun die negativen Ionen im Vergleich zu den positiven sind, um so grösser wird der Überschuss der ausgesandten negativen sein.

Unsere erste Versuchsreihe hat im allgemeinen die Volta'sche Spannungsreihe geliefert. Es könnte also hier neben dem Einfluss der ionisierten Luft besonders Punkt 2 zur Geltung kommen. Ob Punkt 2 überhaupt sich geltend macht oder in welchem Mass er wirkt, ist nicht zu ersehen.

Vor allem muss also der Einfluss der ionisierten Luft herabgesetzt werden. Eine teilweise Erniedrigung dieses Einflusses erlangte ich auf folgende Weise. Ich benutzte als Platten kleine Scheibchen von 2×6 cm Grösse. Sie waren an einen Kupferdraht angelötet, der seinerseits an zwei Messingstäbchen von 1×5 cm befestigt war. Diese Stäbe trugen verschiedene Löcher und konnten an die oben beschriebenen Bernsteinansätze angeschraubt werden. Als Vergleichsmetall wählte ich Silber, das in genau derselben Weise befestigt war.

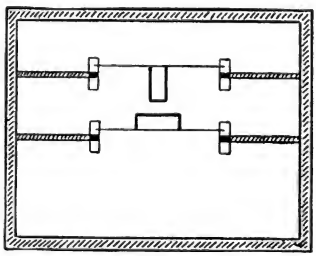

Fig. 4.

Der Apparat wurde so aufgestellt, dass die Messingstücke nicht direkt von den von der Anthikathode ausgehenden Strahlen getroffen wurden. Die Luft war trotzdem überall ionisiert. Es standen nun in der ionisierten Luft Elektroden gegenüber, die sehr viel gleichartiges Metall besassen. Hier wird aller Wahrscheinlichkeit nach der Einfluss der Luft auf die Potentialdifferenzerregung wesentlich geringer sein, als wenn die Metalle allein sich gegenüberstehen. Es werden dann die Punkte 1., 3. und 4. mehr zur Geltung kommen, wenn sie überhaupt wirken.

Digitized by Google

Wenn ich nun die Versuche für verschieden harte Strahlen durchführe, so muss neben der Volta'schen Spannungsreihe Punkt 3 und 4 also Dichte und Atomgewicht in Betracht kommen. Da sich bei der ersten Versuchsreihe keine wesentliche Veränderung der Reihenfolge bei den verschiedenen Bestrahlungsdauern ergeben hat, so habe ich die neue nur für eine Bestrahlungsdauer von 1 Sek. durchgeführt, dafür aber noch einige andere Metalle berücksichtigt. Die Entfernung des Apparates von dem Bleischirm betrug 25 cm. Es wurden bei jedem Metall durchschnittlich 8—10 Messungen vorgenommen und daraus der Mittelwert gebildet.

Tabelle 12 gibt die Reihe der Metalle für eine Röhre mit 1.1 cm Funkennebenstrecke zwischen Kugeln von 1 cm Radius, also für sehr weiche Strahlen. Die Reihe entspricht ungefähr der Volta'schen Spannungsreihe. Blei und Kohle, die sich beide durch extreme Werte der Dichte oder des Atomgewichtes auszeichnen, fallen ausserhalb der Reihe.

Metall	$\frac{V_1}{V_2}$	V_1 in Volt	V_2 in Volt
Platin	1.067	0.35	0.33
Silber	1.006	0.33	0.33
Blei	0.998	0.35	0.35
Kohle	0.956	0.33	0.35
Antimon	0.946	0.34	0.37
Kupfer	0.945	0.33	0.36
Eisen	0.940	0.34	0.37
Nickel	0.935	0.34	0.37
Zink	0.870	0.31	0.36
Aluminium	0.825	0.30	0.36

Tab. 12

Tabelle 13 gibt die Reihenfolge derselben Metalle für eine Röhre von 3.5 cm Funkennebenstrecke zwischen Kugeln von 1 cm Radius. Die Reihenfolge ist eine andere geworden, sie entspricht fast der Dichte oder auch dem Atomgewicht. Das Potential der Platten ist ungefähr auf das Doppelte gestiegen.

Tabelle 14 gibt die Reihenfolge für eine Röhre von 4.3 cm Funkennebenstrecke, für Strahlen also, die man schon als harte Strahlen bezeichnen kann.

Die Reihenfolge hat sich bei Platin, Blei und bei Kupfer Antimon geändert. Zieht man aus den Veränderungen

Digitized by Google

Metall	$\frac{V_1}{V_2}$	V_1 in Volt	V_2 in Volt
Platin	1.120	0.74	0.66
Blei	1.108	0.75	0.67
Silber	1.062	0.72	0.68
Kupfer	1.011	0.71	0.70
Antimon	1.005	0.69	0.69
Nickel	0.975	0.68	0.70
Eisen	0.971	0.66	0.69
Zink	0.959	0.68	0.71
Kohle	0.946	0.70	0.74
Aluminium	0.881	0.66	0.75

Tab. 13

Metall	$\frac{V_1}{V_2}$	V_1 in Volt	V_2 in Volt
Blei	1.172	0.84	0.70
Platin	1.113	0.87	0.77
Silber	1.055	0.82	0.77
Antimon	1.013	0.84	0.83
Kupfer	0.983	0.76	0.77
Nickel	0.979	0.76	0.78
Eisen	0.967	0.76	0.78
Zink	0.941	0.79	0.83
Kohle	0.940	0.75	0.79
Aluminium	0.902	0.76	0.84

Tab. 14

Folgerungen, so könnte man zu dem Schlusse gelangen, dass sich bei noch härteren Strahlen schliesslich eine Reihe ergäbe, die nach der Dichte oder noch wahrscheinlicher nach dem Atomgewicht geordnet ist. Charakteristisch ist das Verhalten von Blei, Platin, Antimon und Kohle. Es geht also zur Genüge aus der Untersuchung hervor, dass mit der Härte der Strahlen d. h. also mit dem Wachsen der ladenden Wirkung, das Potential proportional dem Atomgewicht (oder der Dichte) wird.

Dies wird noch deutlicher durch eine Reihe, die ich früher bei einer anderen Versuchsanordnung mit einer Röhre von 6.3 cm Funkennebenstrecke zwischen Kugeln von 1 cm Radius gefunden habe. [Die Röhre stand mir leider zuletzt nicht mehr zur Verfügung. (Anm.)]. Es wurden die Metalle gegen Aluminium verglichen. Ihre Grösse betrug etwa 5×6 cm. Es ergab sich:

		$V_1 : V_2$	Atomgew.
Al	— Al	1.025	27
Eisen	— Al	1.250	56
Kupfer	— Al	1.280	63
Zink	— Al	1.300	65
Neusilber	— Al	1.300	—
Messing	— Al	1.315	—
Blei	— Al	1.375	207

Digitized by Google

Die Reihenfolge stimmt also mit der für die Atomgewichte überein.

Das Resultat dieser Untersuchung ist also folgendes:

Die verschiedenartigen Metalle laden sich verschieden hoch auf. Befinden sie sich in Luft von Atmosphärendruck, so ist ihre Reihenfolge bedingt:

1) Durch ihre Stellung in der Volta-Reihe,
2) durch ihr Atomgewicht (oder ihre Dichte).

Massgebend für das Überwiegen des einen oder anderen Punktes ist die Härte der Strahlen.

VI. Andere Körper.

Ich habe zu Anfang gesagt, dass fast alle Körper, die von Röntgenstrahlen getroffen werden, negative Ionen aussenden. In der weiteren Untersuchung will ich nun feststellen, in welchem Grade dies der Fall ist. Die Versuchsanordnung war im wesentlichen dieselbe wie vorher. Vergleichsplatte war wieder eine Silberplatte. Alle Körper hatten eine Grösse von 2×6 cm. Sie wurden an einem Kupferdraht befestigt, der an die beiden Messingstäbe angeschraubt war.

Hier zeigte sich nun deutlich, dass Röntgenstrahlen nicht nur von der Antikathode, sondern auch von der Glaswand der Röhre ausgingen, denn die Messingstäbe zeigten, obgleich sie nicht direkt von den von der Antikathode ausgehenden Strahlen getroffen werden konnten, eine geringe

Digitized by Google

Metall	$\frac{V_1}{V_2}$	V_1 in $^1/_{100}$ Volt	V_2 in $^1/_{100}$ Volt
Blei	1.368	52	38
Platin	1.222	55	45
Silber	1.111	50	45
Antimon	1.020	52	51
Kupfer	0.970	44	45
Nickel	0.955	44	46
Eisen	0.945	44	46
Zink	0.922	47	51
Kohle	0.920	43	47
Aluminium	0.846	44	42
Holz	0.715	43	59
Glas	0.510	31	61
Hartgummi rauh	0.160	12	74
„ poliert	0.080	7	75
Paraffin	0.050	4	70
Papier trocken	0.300—0.400		
„ mit Alkohol	0.686	35	51
„ „ Alkohol verdunstet	0.750	37	50
„ mit Wasser	0.700	34	50
„ „ Kochsalzlösung	0.695	34	50
„ „ etwas getrocknet	0.730	35	48
„ „ Kochsalzlösung getrocknet. Salzkruste	0.810	39	48
„ mit H_2SO_4 verdünnt	0.705	36	51
„ „ „ $^1/_2$ zu $^1/_2$	0.730	40	53
„ „ $CuSO_4$	0.718	37	51
„ „ Öl	0.562	30	53

Tab. 15

Digitized by Google

positive Ladung. Der Kupferdraht zeigt mit den Messingstäben zusammen ein Potential, das ungefähr ein Drittel des Potentials der Vergleichsplatte ausmacht. Da dasselbe Potential auch auf der Vergleichsplatte auftreten und sich zu dem der Silberplatte addieren muss, so habe ich von vorn herein dieses Potential in Abzug gebracht, um so desto deutlicher die Wirkung der Strahlen auf die einzelnen Körper zu zeigen. (Siehe Tab. Seite 41).

Die Tabelle zeigt also folgendes: Alle Körper laden sich zu einem gewissen Potentiale auf.

Das Potential, das angefeuchtetes Papier annimmt, bleibt nur wenig hinter dem Potential von Aluminium zurück. Säuren und Salzlösungen begünstigen die Aufladung. Die Ladung ist noch stärker, wenn das Lösungsmittel verdunstet ist und sich Krystalle auf dem Papier gebildet haben. Holz nimmt ungefähr dieselbe Stellung ein wie angefeuchtetes Papier. Die Isolatoren werden am wenigsten geladen. Ihre Reihenfolge ist: Öl, Glas, Hartgummi, Paraffin. Die ladende Wirkung bei Paraffin ist sehr gering.

VII. Versuche in CO_2.

Damit wäre der Einfluss der Röntgenstrahlen auf verschiedene Substanzen, soweit die ladende Wirkung in Betracht kommt, im grossen und ganzen untersucht. Zum Schluss will ich noch eine Messung anführen, die ich in Kohlensäure angestellt habe, um den Einfluss des Gases zu studieren. In einem 20 cm breiten, 30 cm hohen und 15 cm tiefen Holzkasten, dessen Vorder- und Rückwand durch zwei Glasscheiben von 1 mm Dicke gebildet wurden, wurden die zu

Digitized by Google

untersuchenden Platten und eine Vergleichsplatte aufgestellt. Es wurden Cu, Ag, Zn, Pb, Al gegen Al in Luft und CO_2 verglichen. In dem Kasten befand sich noch Chlorkalzium zum Trocknen des Gases. Der Kasten war so aufgestellt, dass nur die Glaswände von den Strahlen getroffen werden konnten. Die Entfernung der Metalle vom Bleischirm betrug ca. 15 cm. Es wurde eine Röhre von 4.3 cm Funkenbenstrecke bei Kugeln von 1 cm Radius benutzt.

Es ergibt sich, dass Potential und Potentialdifferenz in Kohlensäure geringer ist als in Luft. Vielleicht ist diese Wirkung der Leitfähigkeit der ionisierten Kohlensäure zuzuschreiben, die sich nach Hillers[1]) zu der der Luft verhält wie 1.2 : 1.

Metall	Gas	$\frac{V_1}{V_2}$	V_1 in Volt	V_2 in Volt
Blei	Luft	1.261	0.92	0.72
	CO_2	1.116	0.72	0.64
Silber	Luft	1.148	0.70	0.61
	CO_2	1.017	0.56	0.55
Kupfer	Luft	1.026	0.69	0.68
	CO_2	0.954	0.53	0.56
Zink	Luft	1.020	0.75	0.72
	CO_2	0.949	0.69	0.75
Aluminium	Luft	0.836	0.73	0.88
	CO_2	0.849	0.68	0.81

Tab. 16

VIII. Versuche an Palladium.

Ich verglich zwei Palladiumplatten miteinander. Hatten sie beide kein H_2 okkludiert, so ergaben sich in der unter V. beschriebenen Anordnung folgende Resultate bei einer Bestrahlungsdauer von 1 Sekunde:

[1]) Hillers l. c.

Digitized by Google

V_1 Ausschlag	V_2 Ausschlag	$\frac{V_1}{V_2}$
1390	1190	1.168
1299	1116	1.165
1371	1185	1.158
1309	1127	1.161
1263	1085	1.164
		1.163

Tab. 17

Wurde dann V_1 in einer Wasserstoffatmosphäre ungefähr 10 Minuten lang geladen, so ergab sich

(Tabelle 18)

V_1 Ausschlag	V_2 Ausschlag	$\frac{V_1}{V_2}$
1440	1200	1.200
1380	1200	1.150
1280	1120	1.140
von neuem geladen		
1266	950	1.335
1235	1060	1.175
1244	1070	1.164

Tab. 18

Es ergibt sich also die merkwürdige Tatsache, dass eine Wirkung des okkludierten Wasserstoffs sich nur bei der ersten Bestrahlung bemerkbar macht. Es scheint fast, als ob das Gas nach der ersten Bestrahlung entwichen wäre.

Die Resultate, zu denen die Arbeit geführt hat, veranlassen mich noch kurz auf die Veröffentlichungen von Paschen[1]) hinzuweisen, in denen er sich über die Natur der X-Strahlen dahin ausspricht, dass sie Kathodenstrahlen von äusserst hoher Geschwindigkeit seien. Nun geht aber aus Vorliegendem hervor, dass dort, wo Kathodenstrahlen von genügend grosser Geschwindigkeit auftreten, Röntgenstrahlen und umgekehrt bei auftretenden Röntgenstrahlen Kathodenstrahlen vorhanden sind. Es muss daher unter der Radiumstrahlung eine den Röntgenstrahlen entsprechende Strahlenart vorhanden sein. Dies sind die X-Strahlen. Die Versuchsresultate Paschens sind zu erklären, wenn man die X-Strahlen als Röntgenstrahlen unter Berücksichtigung ihrer sekundäre Kathodenstrahlen erzeugenden Wirkung auffasst.

[1]) Paschen, Annalen der Physik. 14. p. 164 und 389 ff.

Digitized by Google

Zusammenfassung.

Ich fasse die Resultate, zu denen meine Untersuchung geführt hat, noch einmal kurz zusammen:

1. Es hat sich ergeben, dass alle Körper, die direkt von Röntgenstrahlen getroffen werden, positive Ladung erhalten.
2. Sehr dünne Metalle laden sich stärker auf als dicke Platten desselben Metalls, und zwar ist der Unterschied um so grösser, je kürzer die Bestrahlungsdauer ist.
3. Der Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit ist gering.
4. Das Potential der bestrahlten Platte ist abhängig:
   a) von der Kapazität, mit der die Platte verbunden ist. Die Elektrizitätsmenge, das Produkt aus Kapazität und Potential wird kleiner für grössere Potentiale, d. h. geringere Kapazitäten. Wird dies der Leitfähigkeit der Luft zugeschrieben, so kann man annehmen, dass die Elektrizitätsmenge, die von bestimmten Strahlen erzeugt wird, konstant ist.
   b) von der Bestrahlungsdauer. Das Potential wächst beständig mit der Bestrahlungsdauer bis zu einer Dauer von 20″, von da ab bleibt es einigermassen konstant.
   c) von der Art der Strahlen. Harte Strahlen bewirken eine stärkere Ladung als weiche.
   d) von der Art des Metalls und zwar ist das Potential umsogrösser, je grösser das Atomgewicht und je elektronegativer das Metall ist. Der Einfluss des

Digitized by Google

Atomgewichts macht sich besonders bei harten Strahlen bemerkbar, die Stellung des Metalls in der Spannungsreihe bei weichen Strahlen.

e) von dem umgebenden Gas. In Luft ist das Potential grösser als in CO_2.

5. Sekundärstrahlen wirken der Ladung entgegen. Dadurch erklären sich die Differenzen hinsichtlich des Punktes 1 bei verschiedenen Beobachtern.

Es sei mir noch gestattet, Herrn Professor Dr. Drude für Anregung und Leitung dieser Arbeit und für das Wohlwollen, das er mir entgegengebracht hat und Herrn Dr. Zahn für die liebenswürdige Unterstützung meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Digitized by Google

Lebenslauf.

Ich, Karl Hahn aus Giessen, bin am 4. Januar 1882 als Sohn des Schreinermeisters und Bauunternehmers Karl Hahn zu Giessen geboren, besuchte das Realgymnasium zu Giessen von 1891 bis 1900 und verliess es mit dem Zeugnis der Reife. Darauf studierte ich in Giessen und München Mathematik und Physik. Im Februar 1904 bestand ich die Prüfung für das höhere Lehramt und bin seitdem als Akzessist am Giessener pädagogischen Seminar tätig.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

UNIVERSITY OF CALIFORNIA
LIBRARY

Due two weeks after date.
SEP 27 19[illegible]

MAY 13 1928

30m-7,'12

Digitized by Google

QC481
H3

Hahn, 155539
Die ladende wirkung
der Röntgenstrahlen.

Sept. 27'13 Buhmann

OCT 11 1913

MAI 13 19 De Forest JUL 28

QC481
H3

155539

NIA LIBRARY

Digitized by Google